



TITLE:

A Numerical Study of Solid Oxide Iron-Air
Battery:Thermodynamic Analysis and Heat
and Mass Transfer Characteristics(
Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Ohmori, Hiroko

CITATION:

Ohmori, Hiroko. A Numerical Study of Solid Oxide Iron-Air Battery:Thermodynamic Analysis and Heat and Mass Transfer Characteristics. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19703>

RIGHT:

許諾条件により本文は2017-03-22に公開

| | | | |
|--|---|----|---------|
| 京都大学 | 博士（工学） | 氏名 | 大 森 寛 子 |
| 論文題目 | A Numerical Study of Solid Oxide Iron–Air Battery: Thermodynamic Analysis and Heat and Mass Transfer Characteristics （固体酸化物形鉄空気蓄電池の数値解析 ―熱力学的解析および熱物質移動特性―） | | |
| （論文内容の要旨） | | | |
| <p>本論文は、固体酸化物形鉄空気蓄電池（Solid Oxide Iron–Air Battery：SOIAB）について、熱工学的および伝熱工学的な見地から本電池のシステムとしての実現可能性を検証するとともに、電池の設計や作動方法の指針を提案することを目的としている。電気エネルギーのみならず熱エネルギーの収支も考慮したシステム充放電効率を明らかにすること、および電池内部の気体拡散や伝熱現象を非定常数値シミュレーションにより定量的に評価しシステムの基礎特性を明らかにすることで、電池性能向上を目指す上で有用な知見を得ている。本論文は6章から構成される。</p> <p>第1章は序論であり、エネルギー貯蔵デバイスの需要が高まりつつある背景の中、新しいコンセプトの蓄電池として注目されているSOIABのこれまでの研究を概説した上で、熱工学的および伝熱工学的な解析を行うことの意義を明らかにしている。</p> <p>第2章では、固体酸化物形電気化学セル（Solid Oxide Electrochemical Cell：SOEC）と金属の酸化還元反応を組合せるエネルギー貯蔵方法を示した上で、酸化還元金属として鉄を使用するSOIABの電池反応を解説している。想定される電池のシステム構成を、SOECと酸化還元金属を別置きする「分離型」と同一容器に収める「一体型」とに分類し、本論文で解析対象とするシステム構成モデルの概略を説明している。</p> <p>第3章では、最も基礎的と考えられる構成の分離型SOIABシステムを想定し、システムの構成要素であるSOEC、鉄の微粒子から成る鉄多孔質体、および熱回収と温度制御を目的とした三つの熱交換器をそれぞれ0次元モデルで記述して、準定常作動を仮定したシステム解析モデルを開発している。電気エネルギーと熱エネルギーの収支を考慮したシステム充放電効率を定義し、システム解析を行っている。その結果、本論文にて設定した基準状態でのシステム充放電効率が61%であることを示し、SOIABのエネルギー貯蔵デバイスとしての実現可能性を確認している。また、SOECにおける燃料・空気利用率や電流密度、あるいは各熱交換器の温度効率がシステム充放電効率に与える影響を明らかにし、SOIABにおける熱管理の重要性と高効率を保つための作動条件に関する基礎的な知見を得ている。</p> <p>第4章では、一体型SOIABを対象とし、SOECにおける電気化学反応と鉄多孔質体における酸化還元反応が、水素・水蒸気の混合ガス拡散を通じて連成する非定常1次元数値解析モデルを開発している。電池内の微小領域に注目することで等温条件を課して系を簡略化したうえで、鉄多孔質体の酸化還元反応に伴う体積変化の影響を、多孔質部の局所体積分率と空隙部屈曲度ファクターの時間変化としてモデル化している。出力の時間変化や鉄多孔質部での酸化還元反応領域の時間推移などを定量的に予測した結果、特に放電時には、酸化に伴う鉄の体積膨張に起因して、気体の有効拡散係数が多孔質部表面付近から徐々に低下して気体拡散が制限されることで、鉄の酸化反応が阻害される恐れがあることを明らかにしている。</p> | | | |

| | | | |
|--|--------|----|---------|
| 京都大学 | 博士（工学） | 氏名 | 大 森 寛 子 |
| <p>第5章では、前章に引き続いて一体型SOIABを対象とし、気体拡散に加えて電気化学反応や酸化還元反応による吸発熱、SOECにおける各種損失に伴う発熱、空気流による加熱・冷却効果を考慮した非定常2次元数値解析モデルを開発し、熱物質移動現象の詳細な解析を行っている。電池内の局所温度や気体濃度分布の時間変化を数値的に予測し、SOECでの電流密度分布や鉄多孔質部での反応領域の時間推移を明らかにしている。蓄電容量を増すために鉄多孔質部の深さを増した解析では、表面からの気体拡散距離が長い容器底部の鉄があまり酸化還元反応に供されないこと、すなわち、SOIABの設計と作動条件によっては鉄多孔質体の一部は十分にエネルギー貯蔵に寄与しない恐れがあることを明らかにしている。</p> <p>第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、考えられる将来の展開を述べている。</p> | | | |

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、固体酸化物形鉄空気蓄電池 (Solid Oxide Iron-Air Battery: SOIAB) について熱工学的および伝熱工学的な見地に立つ数値解析を実施することにより、システムの実現可能性の検証および本電池の設計や作動方法の指針の提案を行っている。電気エネルギーと熱エネルギーの収支を考慮したシステム充放電効率を明確化すること、および電池内部の気体拡散や伝熱現象を詳細な非定常数値シミュレーションにより評価し、システムの基礎特性を明らかにすることで、電池性能向上を目指す上で有用な知見を得ている。得られた主な成果は次のとおりである。

1. 固体酸化物形電気化学セル (Solid Oxide Electrochemical Cell: SOEC)、鉄多孔質体、および三つの熱交換器から構成される分離型 SOIAB の基礎システムを想定し、それぞれの構成要素を 0 次元モデルとして扱う数値解析モデルを構築した。準定常作動を仮定した上でシステム解析を行い、電気エネルギーと熱エネルギーの収支を考慮するシステム充放電効率を定義して評価した。その結果、本論文にて設定した基準状態でのシステム充放電効率が 61%であることを示し、SOIAB のエネルギー貯蔵デバイスとしての実現可能性を確認した。また、各種作動パラメータがシステム充放電効率に与える影響を明らかにし、SOIAB における熱管理の重要性を定量的に示すとともに、高いシステム充放電効率を保つための作動条件の制約に関する基礎的な知見を得た。
2. 一体型 SOIAB について、SOEC、鉄多孔質体およびそれらを仲介するガス拡散層を連成する非定常 1 次元数値解析モデルを構築した。酸化還元反応に伴う鉄多孔質体の体積変化の影響を、多孔質体の局所微構造パラメータの時間変化としてモデル化した。特に放電時には、酸化に伴う鉄の体積膨張に起因して、気体の有効拡散係数が多孔質部表面付近から徐々に低下して気体拡散が制限されることで、鉄の酸化反応が阻害される恐れがあることを明らかにした。
3. 一体型 SOIAB 内での熱物質移動現象の詳細解析のため、各種反応や損失による吸発熱と空気流による加熱冷却効果を考慮した非定常 2 次元数値解析モデルを構築した。局所温度や気体濃度分布の時間変化を数値的に予測することで、SOEC での電流密度分布や鉄多孔質部での反応領域の時間推移を明らかにした。蓄電容量の違いに相当する鉄多孔質部深さをパラメータとした解析では、条件によっては蓄電反応に寄与しない鉄多孔質領域の存在が示されるなど、SOIAB の設計と作動条件の選択時に考慮すべき重要な知見が得られた。

本論文は、以上のように、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 28 年 2 月 19 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。